Vol. 14, No.4, Winter 2025, p. 230-250 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/GEOEH.2025.93316.1569 OPEN ACCESS

Analysis of the Spatial Pattern of Physical Resilience of Rural Settlements in Rudbar County Against Earthquakes

Maryam Zarghampour[1], Timur Amar [2*], Parviz Rezaie[3]

[1,2 & 3] Department of Geography, Ra. C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 03 May 2025

Revised: 08 August 2025

Accepted: 13 August 2025

Available Online: 08 September 2025

Keywords:

Physical Resilience

Rural Settlements

Earthquake Risk

Local Moran's I

Spatial Analysis

Getis-Ord G* Hot Spot Analysis

ABSTRACT

Resilience is a key concept in both psychology and physics that was introduced into geography in the late twentieth century and has since been examined from various human and natural perspectives. This study aims to analyze the spatial pattern of the physical resilience of rural settlements in Rudbar County against earthquakes. To this end, 12 criteria and 36 sub-criteria were employed, and the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Weighted Sum (WS) methods were applied to quantify settlement resilience. Furthermore, Local Moran's I and (Getis-Ord G*) hot spot analysis were utilized to examine the spatial patterns of resilience. The results indicated that, using the AHP method, the resilience levels of rural settlements were 0.66% very low, 13.24% low, 59.61% moderate, 26.49% high, and 0% very high, whereas the WS method yielded 3.32% very low, 33.77% low, 55.64% moderate, 7.27% high, and 0% very high. High-High (HH) clustering patterns were observed in the plains and piedmont areas, while Low-Low (LL) clusters were located in mountainous regions. The HH clusters corresponded to villages with high resilience, whereas LL clusters coincided with villages exhibiting low resilience. Moreover, resilience hot spots were concentrated in the northern piedmont region of Rudbar County, while cold spots were located in the mountainous Khorgam area. Overall, results obtained from both AHP and WS methods were consistent with those from Local Moran's I and (Getis-Ord G*) analyses, confirming significant spatial heterogeneity in the physical resilience of rural settlements against earthquakes. These findings highlight the importance of spatially informed resilience assessment for disaster risk reduction and rural planning.

* Corresponding author: Timur Amar E-mail address: amar@iau.ac.ir

How to cite this article: Zarghampour, M., Amar, T., & Rezaie, P. (2025). Analysis of the Spatial Pattern of Physical Resilience of Rural Settlements in Rudbar County Against Earthquakes. *Journal of Geography and Environmental Hazards, 14*(4), 230-250. https://doi.org/10.22067/geoeh.2025.93316.1569

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The concept of resilience to natural hazards is used in the field of disaster management. Numerous models and indicators have been developed and applied to examine resilience to natural hazards. However, most models and indicators do not take into account spatial differences and patterns. Therefore, the results of most studies cannot represent a spatial perspective (Sung & Liaw, 2021). The aim of this research is to investigate the spatial pattern and differences in the resilience of rural settlements to earthquake risk. Therefore, spatial autocorrelation analysis, which is one of the most ideal statistical approaches, has been used to detect spatial distribution patterns. This research seeks to identify the spatial pattern of the level of physical resilience of rural areas of Rudbar County against earthquakes, and aims to answer the question "To what extent is the physical resilience of rural settlements in Rudbar County against earthquakes?"

Material and Methods

This study was conducted in Gilan province and Rudbar city at geographical coordinates 36° 32′ to 37° 07′N latitude and 49° 11′ to 50° 05′E longitude. According to the 2016 census, this county has a population of 100,943 people, 30,350 households, and accounts for 4% of the total population of Gilan province. There are also 151 inhabited villages in this county, according to the general population and housing census.

In this study, 12 criteria and 36 sub-criteria effective in the physical resilience of rural settlements were identified with the help of experts and specialists in this field. Then, the effect of each criterion on the final level of resilience was determined in order of importance, and the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Weighted Sum (WS) models were used to determine the level of resilience of rural settlements, as well as two local Moran I indices and hot spot analysis in ArcGIS software to identify the type of spatial pattern.

Results and Discussion

The results of spatial cluster and non-cluster analysis of the analytic hierarchy process (AHP) index values using the local Moran I method showed that the high-high (HH) cluster is located in the northeast of the study area. In other words, villages with high resilience are visible in the plain and foothill areas of northern Rudbar County along the Sefidrood Valley to Rostam Abad and have a high-high (HH) cluster pattern. In this regard, most rural settlements in the Khorgam district of Rudbar county also have a low-low (LL) cluster pattern and are less resilient to earthquakes. Also, most of the villages located in the foothills of this county have moderate resilience to earthquakes and do not show significant differences with the high-high or low clusters, and have random and meaningless behavior. As a result, out of 151 villages in this county, 69 villages have random behavior (45.7%), 29 villages have a high-high pattern (19.2%), zero villages have a high-low pattern (0%), 18 villages have a low-high pattern (11.9%) and 35 villages have a low-low pattern (23.2%).

The spatial pattern of the resilience of rural settlements using the weighted sum (WS) method with the local Moran's I statistic showed that the high-high (HH) pattern includes villages in the plain and foothills, and the low-low (LL) pattern includes villages in the mountainous region. The HH pattern includes villages located in the northern part of Rudbar County, which extends along the Sefidrood Valley to the beginning of Rudbar. Also, most of the villages located in the mountainous area of Khorgam district of Rudbar county also have the LL pattern and their resilience to earthquakes is low. As a result, out of 151 villages in this county, 63 villages follow random behavior (41.7%), 46 villages follow the high-high pattern (30.5%) and 30 villages follow the low-low pattern (19.9%).

The results of calculating the hot spot analysis (*G Getis-Ord) of the resilience of rural settlements using the AHP method show that the center of the hot spots of resilience is located in the northern area of the county along the Sefidrood Valley (north-south). Also, the epicenter of the earthquake resilience cold spots includes most of the villages in the Khorgam district of this county. These points are marked with Z equal to ±3 and their hot and cold spots are significant with 95% confidence. In a part of the mountainous area of this county, the meaninglessness of hot spot analysis is quite clear, indicating the mediocre resilience of rural areas in this part. A small number of villages are located in the Z range of +2 or -2, and in general,

most hot and cold spots are observed in a cluster pattern in the plain and mountainous areas. The results of the weighted sum are not much different from the analytic hierarchy process model, and the rules governing hot spot analysis in the AHP model also apply to the WS model. Therefore, out of 151 villages in this county, 25 villages are among the cold spots at a 99% confidence level and 26 villages are among the hot spots at a 99% confidence level in the analytic hierarchy process model. This was also obtained for the weighted sum model, equal to 30 and 34 villages for cold and hot spots, respectively. The analysis of hot spots shows that 65 and 54 villages behaved randomly in the hierarchical analysis and weighted sum model, respectively, against earthquakes, and their resilience was average in both methods.

Conclusion

The aim of this paper is to identify the spatial pattern governing the resilience of rural settlements in Rudbar County against earthquakes. Considering the very severe experience of the earthquake of June 21, 1980, it should be said that earthquakes are still considered a serious danger for this county due to the moderate to low resilience of rural settlements. It should also be said that topography is one of the effective factors in the spatial distribution of vulnerability and physical resilience to earthquakes in this county. In other words, the mountainous areas of this region have high vulnerability and low resilience to earthquakes, and this increases towards the foothills and plains. As a result, the level of development of areas in various dimensions (physical, economic, social, etc.) has a direct impact on the level of resilience, and this issue works completely the opposite in the studied area with altitude. Therefore, it is necessary for the responsible organizations to pay special attention to the issue of earthquakes and to strengthen residential buildings against earthquakes in the mountainous and foothill areas of the county. In addition, the construction of rural settlements appropriate to local conditions and their correct location according to various environmental criteria (including slope, slope direction, soil type, geological formation, distance from faults, etc.) are among the issues that must be considered. Another issue related to rural settlements is the use of indigenous architecture with new technology, as well as indigenous and traditional materials, in order to preserve the heritage of past rural settlements in this area, while observing engineering and architectural principles, which must be considered.

ISSN (Online):2383-3076 ISSN (Print):2322-1682 جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴ ، ص ۲۵۰-۲۳۰

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/GEOEH.2025.93316.1569 دسترسی آزاد

تحلیل الگوی مکانی تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار در برابر زلزله

مریم ضرغام‌پور[۱]، تیمور آمار[۲*]، پرویز رضایی[۳]

[۱و۲و۳] گروه جغرافیا واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچهٔ مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۲

کلمات کلیدی:

تاب‌آوری کالبدی

سکونتگاه های روستایی

خطر زمین لرزه

شاخص I موران محلی

تحلیل فضایی

تحلیل نقاط داغ

(G^* گتیس-اورد)

چکیده

تاب‌آوری یکی از مفاهیم کلیدی در علم روانشناسی و فیزیک است، که در دهۀ آخر قرن بیستم وارد علم جغرافیا شده و از جنبه‌های مختلف انسانی و طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش تعیین الگوی فضایی میزان تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله مد نظر است. بدین منظور از ۱۲ معیار، ۳۶ زیر معیار، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و جمع وزنی (WS) برای تعیین میزان تاب‌آوری و همچنین دو آماره I موران محلی و تحلیل نقاط داغ (G^* گتیس-اورد) برای نوع الگوی فضایی تاب‌آوری سکونتگاه‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی به روش AHP به ترتیب برابر با ۰/۶۶٪، ۲۴/۱۳٪، ۶۱/۵۹٪، ۴۹/۲۶٪ و ۰٪ و با استفاده از روش WS برابر با ۳۲/۳٪، ۷۷/۳۳٪، ۶۴/۵۵٪، ۲۷/۷٪ و ۰٪ برای گزینه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به‌دست آمد. الگوی خوشه‌ای بالا - بالا (HH) در ناحیه جلگه‌ای و پایکوهی و الگوی خوشه‌ای پایین - پایین (LL) در ناحیه کوهستانی مشاهده گردید. همچنین الگوی خوشه‌ای HH در انطباق با روستاهای با تاب‌آوری بالا و الگوی خوشه‌ای LL منطبق با روستاهای با تاب‌آوری پایین است. در این راستا، نقاط داغ تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی در ناحیه پایکوهی شمال شهرستان رودبار و نقاط سرد تاب‌آوری نیز در بخش کوهستانی آن یعنی بخش خورگام قرار گرفته است. در مجموع نتایج به‌دست آمده از روش AHP و WS با روش‌های I موران محلی و تحلیل نقاط داغ (G^* گتیس-اورد) یکی بوده و عدم همگنی در میزان تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله کاملاً محرز است.

* نویسندۀ مسئول: تیمور آمار

E-mail: amar@iau.ac.ir

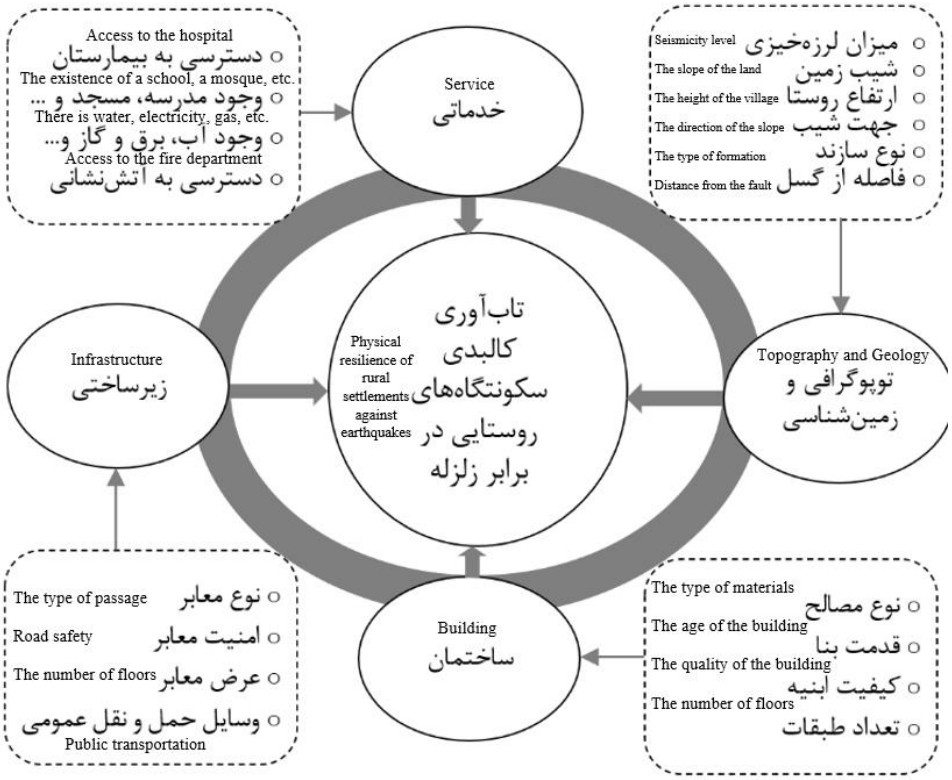
مقدمه

مفهوم تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی در حوزه مدیریت بلایا استفاده می‌شود. مدل‌ها و شاخص‌های متعددی برای بررسی تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی توسعه و اعمال شده‌اند. با این حال، اکثر مدل‌ها و شاخص‌ها، تفاوت‌ها و الگوهای فضایی را در نظر نمی‌گیرند. بنابراین، نتیجهٔ اکثر مطالعات نمی‌تواند بیانگر دیدگاه فضایی باشد (Sung & Liaw, 2021). تفاوت‌ها و الگوهای فضایی به دلیل اینکه انسان یکی از موضوعات و اجزاء مهم در بلایای طبیعی است غیر قابل چشم‌پوشی هستند. در نتیجه، انسان‌ها با تأثیرگذاری بر تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی، تفاوت فضایی ایجاد می‌کنند. تفاوت فضایی به طور قابل توجهی بر تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی تأثیر می‌گذارد (Cutter, 2016; Frazier, Thompson, Dezzani & Butsick, 2013; Frigerio et al., 2016). رویکرد بررسی تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی را می‌توان با توجه به روش، مقیاس فضایی و هدف به چند نوع تقسیم کرد (Winderl, 2014). اما هدف این پژوهش نیز بررسی الگوی فضایی و تفاوت در میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی در برابر خطر زلزله است. از این‌رو از تحلیل خود همبستگی فضایی که یکی از ایده‌آل‌ترین رویکردهای آماری است برای تشخیص الگوی توزیع فضایی استفاده شده است.

زلزله‌های مخرب و فاجعه‌آمیز چند دههٔ اخیر نشان می‌دهد که ایران کشوری زلزله‌خیز است و هیچ نقطه‌ای از آن از خطر زلزله در امان نیست (Shahabi, Golizadeh & Nayer, 2011). به طور متوسط هر چهار سال یک‌بار در ایران زلزله‌ای شدید رخ می‌دهد که پیامد آن تخریب ۹۷٪ از واحدهای روستایی در منطقهٔ وقوع زلزله است. این خود بیانگر آسیب‌پذیری بالای سکونتگاه‌های روستایی است که در اثر کوچکترین زمین‌لرزه، آثار تخریب در آنها نمایان می‌گردد (Sharifi, Hosseini & Asadi, 2011). تجربه زلزله در ایران نشان می‌دهد که علاوه بر مکان‌گزینی سکونتگاه‌های کشور بدون توجه به توان لرزه‌خیزی محیط، بافت فرسوده و کم دوام روستایی، عدم آمادگی روستاییان برای رویارویی با آن، پایین بودن سطح استفاده از تکنولوژی و غیره، زلزله را تبدیل به بحرانی می‌کند که در صورت وقوع، پیامدی جز تبدیل خانه‌های روستایی به آوار و سایر صدمات جانی و مالی نخواهد داشت (Heydari Sarban, Majnoony Toutakhane & Neghabi, 2016; Yari Hesar & Heidari Sareban, 2016). زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹رودبار-منجیل از نظر شدت جزء چهار زلزله بزرگ دنیا و مخرب‌ترین زلزله قرن معاصر در ایران بوده است. در شهر رشت (۵۵ کیلومتری از مرکز زلزله) بر اثر طولانی شدن مدت زمان زلزله و همچنین به خاطر وضعیت خاک، تعدادی از ساختمان‌های بلند (۵ تا ۸ طبقه) به شدت آسیب دید. زلزله همچنین موجب به وجود آمدن پدیده روان‌گرایی در بسیاری از نقاط روستاهای شهرستان رودبار گردید که خسارات عمده‌ای را در این نقاط به بار آورد. صدها زمین‌لغزش نیز باعث گردید که روستاها به کلی تخریب و یا زیر خاک دفن گردیده و باغات و اراضی کشاورزی دچار آسیب کلی شوند. از این جمله می‌توان به زمین‌لغزش گلدیان اشاره کرد که دارای ۲/۵ کیلومتر طول، ۳۵۰ متر عرض و ۵۰ متر افتادگی بوده است. این زمین‌لغزش حدود ۳۵۰ تا ۵۰۰ متر حرکت کرده، نزدیک جادهٔ تهران رشت متوقف می‌شود. بر اثر این زمین‌لغزش لوله اصلی نفت قزوین - رشت شکسته و ده‌ها هکتار درختان با ارزش از بین می‌رود. علاوه بر این، زلزله سنگریزش‌های متعددی را در نقاط کوهستانی منطقه، از قبیل جاده قزوین - لوشان، جاده لوشان-جیرنده، جاده رودبار، حوالی سد سفیدرود به وجود آورد که به نوبه خود خسارات و مشکلات جدیدی را ایجاد کرد (Zargar, Miri & Aghaei, 1994).

طبق گزارش جهانی مخاطرات، روزانه به طور متوسط ۱۳۰۰ نفر بر اثر مخاطرات طبیعی کشته می‌شوند که ۹۸٪ آن مربوط به کشورهای در حال توسعه و به ویژه عرصه‌های روستایی است (Alavi, Ramezannejad, Fatahi & Khalifeh, 2016). موارد اشاره شده و نیز آمارهای جهانی منتشر شده از سوی مراجع بین‌المللی بیانگر اهمیت بررسی میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله است. کالبد سکونتگاه‌های روستایی بستری برای عملکرد اقتصادی و اجتماعی آنهاست، بنابراین آسیب‌پذیری کالبد سکونتگاه‌های روستایی باعث افزایش آسیب‌پذیری و کاهش تاب‌آوری سایر ابعاد ساختار روستایی می‌شود. مطالعات انجام شده بر

روی تاب‌آوری در برابر زلزله که بر تعاملات انسان و طبیعت متمرکز بوده، ابعاد مختلف این مسئله را از جنبه اجتماعی، اقتصادی، طبیعی، روان‌شناسی، جغرافیا، مدیریت ریسک و مطالعات ارتباطی در برمی‌گیرد (Cutter, 2014; Aldrich, 2011; Chang, McDaniels, Fox, Dhariwal & Longstaff, 2014; Feder et al., 2013). برخی از محققان تلاش کرده‌اند تا به طور کیفی تاب‌آوری پس از زلزله را بررسی کنند. برخی مدل مفهومی با رابط تعامل انسان - کامپیوتر برای توصیف روابط بین جوامع، خطوط حیاتی و خانوارها در بازیابی پس از زلزله ساختند. برخی دیگر از داده‌های پرسشنامه‌ای برای بررسی میزان تاب‌آوری جامعه در برابر زلزله از چهار منظر امنیت اجتماعی، شرایط اقتصادی، امکانات ساخت‌وساز و سیستم کاهش بلایا استفاده کردند. با توجه به هدف مورد نظر پژوهشگران، هیچ نتیجه‌گیری واحدی در مورد چگونگی تعریف تاب‌آوری وجود ندارد (Miles & Chang, 2006; Ainuddin & Routray, 2012). علاوه بر تمرکز بر یک تعریف مفهومی، مطالعاتی که معیارهای کمی تاب‌آوری در مخاطرات را توسعه می‌دهند، قانع‌کننده‌تر هستند، زیرا به کاهش خطر برای بهبود تاب‌آوری یک جامعه کمک می‌کنند (Liu, Zhang, Li & Chen, 2021). متأسفانه، کمی کردن پارامترهای تاب‌آوری در زیرسیستم‌های چندوجهی کار آسانی نبوده و پژوهشگران ترجیح می‌دهند به جای آن بر شاخص‌های اقتصادی یا جمعیتی تأکید کنند (Noy & DuPont, 2018). اما تأکید بر مفهوم آمادگی و مقاومت به جای بازیابی در تاب‌آوری به نوعی نگرش ما را نسبت به موضوع زلزله و تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی تغییر می‌دهد. زیرا به جای پرداخت به اینکه بعد وقوع حادثه چه خواهد شد و آیا شرایط اقتصادی و اجتماعی جامعه روستایی قادر به بازیابی خود بعد از وقوع زلزله خواهد بود، بهتر است که به مسئله تاب‌آوری از نقطه نظر آمادگی و مقاومت نگریسته شود. شکل ۱ مدل مفهومی پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

Fig. 1. Conceptual model of research

مطالعات انجام شده در زمینه تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی نیز بر ابعاد مختلف این موضوع اعم از اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، کالبدی، نهادی و غیره تأکید دارند. به‌عنوان مثال می‌توان به مطالعه در زمینه تاب‌آوری معیشت روستایی از بعد اجتماعی، اقتصادی، محیطی و کالبدی در روستاهای ناحیه سایونگ[1] اندونزی (Rudiarto, Handayani, Wijaya & Insani, 2019)، تحلیل الگوی فضایی رابطه بین آسیب‌پذیری و تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی در شمال شرق تایوان (Sung & Liaw, 2021)، تاب‌آوری سیستم سکونتگاه‌های انسانی روستایی چین (Ge, Zheng, Zhang, Fu & Su, 2022)، تحلیل فضایی تاب‌آوری اقتصادی کشاورزی در انگلستان و ولز (Berry, Vigani & Urquhart, 2022)، ارزیابی آمادگی معیشتی در برابر زلزله در کایکورای[2] نیوزیلند (Kwazu & Chang-Richards, 2022)، توزیع مکانی و زمانی بلایا در چین (Su, Liu, Dai, Chen, Zhang & Wang, 2023)، توزیع فضایی عوامل موثر بر بلایای زمین‌شناختی نواحی کوهستانی جنوب غربی چین (Shu, Chen, Amani-Beni & Zhang, 2022) و غیره اشاره کرد. در این راستا، پژوهشگران داخلی هم در زمینه تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی مطالعات زیادی انجام داده‌اند که از جمله تحلیل فضایی تاب‌آوری اجتماعی و اقتصادی سکونتگاه‌های روستایی آوج در برابر مخاطره زلزله (Fakhrghazi, Pourramzan & Molaei Hashtjin, 2021a; Fakhrghazi, Pourramzan & Molaei Hashtjin, 2021b)، تحلیل فضایی تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان مریوان در برابر مخاطره زلزله (Badri, Karimzadeh, Saadi & Kazemi, 2019)، تخمین فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های تهران در برابر زلزله (Faraji Sabokbar, Badri & Tahmasi, 2021)، تحلیل الگوی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان مرند در برابر زلزله (Zakeri-e-Miyab & Aghayari-e-Hir, 2016)، تحلیل و تبیین تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان شیراز در برابر زلزله (Akbarian Ronizi, Negahban & Zare, 2024) و عوامل مؤثر بر تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان ماهنشان در برابر خشکسالی (Mohammadloo, Rahmani Fazli, Sajadi & Charaghi, 2025) را شامل می‌شوند. با توجه به بررسی پیشینه مطالعاتی مشخص شد که در زمینه تاب‌آوری روستاها در مواجهه با بلایای طبیعی مطالعات گسترده‌ای انجام شده است. اما استفاده از روش‌های آمار فضایی مثل شاخص I موران محلی (ALMI) یا تحلیل نقاط داغ (آماره G_i^* گتیس-اورد) و همچنین استفاده از دو روش وزنی‌دهی یعنی تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و جمع وزن‌ها (WS) در تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی به منظور مقایسه نتایج این دو روش در ناحیه مورد مطالعه، کاری نو محسوب می‌شود.

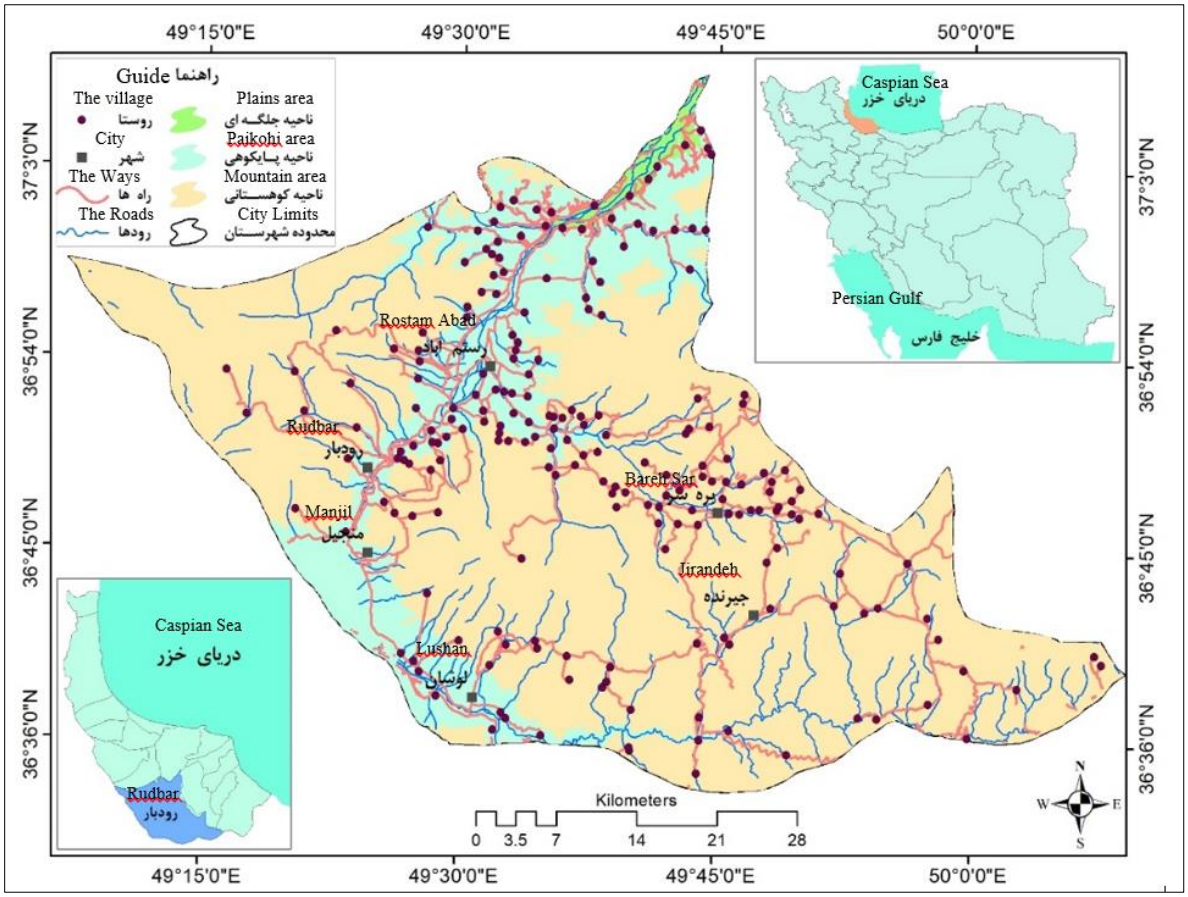
به نظر می‌رسد به دلیل سکونت بیش از ۲۰ میلیون نفر از جمعیت کشور در روستاها و وجود انواع مخاطرات طبیعی و انسانی در فضاهای روستایی این موضوع در آینده نیز اهمیت بیشتری پیدا کند، به همین دلیل در این پژوهش به بررسی و تحلیل در مورد یکی از بخش‌های آن پرداخته می‌شود. در واقع این پژوهش به دنبال شناخت الگوی فضایی میزان تاب‌آوری کالبدی نواحی روستایی شهرستان رودبار در برابر زلزله است، و پاسخ به سؤال «تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار در برابر زلزله تا چه اندازه است» مد نظر می‌باشد.

منطقهٔ مورد مطالعه

شهرستان رودبار در مختصات جغرافیایی ′۳۲ °۳۶ تا ′۰۷ °۳۷ عرض شمالی و ′۱۱ °۴۹ تا ′۰۵ °۵۰ طول شرقی واقع شده است. این شهرستان با وسعت ۲۵۷۴ کیلومتر مربع وسیع‌ترین شهرستان استان گیلان است و از شمال به رشت، از جنوب به استان قزوین و از غرب به شفت و استان زنجان محدود می‌شود. طبق آخرین سرشماری تقسیمات اداری سال ۱۳۹۵، دارای ۴ بخش مرکزی، عمارلو، خورگام و رحمت‌آباد و بلوکات است که بخش مرکزی دهستان‌های رستم‌آباد شمالی، رستم‌آباد جنوبی و کلشتر، بخش عمارلو دهستان‌های جیرنده و کلیشم، بخش خورگام دهستان‌های خورگام و دلفک و در نهایت بخش رحمت‌آباد و بلوکات نیز دهستان‌های بلوکات، رحمت‌آباد و دشتویل را شامل می‌شوند. این شهرستان با ۱۰۰۹۴۳ نفر جمعیت دارای ۳۰۳۵۰ خانوار بوده و

1- Sayung
2- Kaikoura

۴٪ از کل جمعیت استان گیلان را به خود اختصاص داده است. همچنین ۱۵۱ روستای دارای سکنه براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن در این شهرستان وجود دارد. در شکل ۲ نقاط روستایی شهرستان رودبار نشان داده شده است (Management and Planning Organization of Guilan Province, 2025).



شکل ۲- موقعیت شهرستان رودبار در استان و کشور به همراه روستاهای واقع در آن

Fig. 2. Location of Rudbar County along with the villages located there

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای تعیین الگوی فضایی میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار در برابر زلزله، نخست معیارها و زیرمعیارهای موثر در تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی با کمک اساتید و پژوهش‌های انجام شده در این حوزه شناسایی گردید. سپس زیرمعیارهای هر معیار به سه طبقه با میزان تاب‌آوری کم، متوسط و بالا طبقه‌بندی شد (جدول ۱). در همین راستا، میزان اثر هر معیار در میزان تاب‌آوری نهایی به ترتیب اهمیت مشخص و کد ترجیحی هر زیر معیار تعیین گردید، که بترتیب از ترجیح بالاتر به سمت ترجیح پایین‌تر (۷، ۵ و ۳) تغییر می‌کند. در این پژوهش از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای مشخص نمودن میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی و همچنین از روش‌های آمار فضایی جهت شناسایی نوع الگوی فضایی استفاده شد.

جدول ۱- تعیین معیارها، زیر معیارها و کدگذاری آن جهت تعیین میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی در مقابل زلزله

Table 1- Identification of Criteria, Sub-Criteria, and Their Coding for Assessing the Earthquake Resilience of Rural Settlements

ردیف (Row)	مولفه (Component)	شاخص(Indicator)	زیرشاخص(Sub-indicator)	میزان تاب‌آوری (Resilience Level)
1	توپوگرافیکی و زمین-شناختی (Topographic and Geological)	میزان لرزه‌خیزی (Seismicity)	(Low Intensity) شدت کم	بالا(High)
			(Medium) متوسط	متوسط(Medium)
			(High) زیاد	کم(Low)
2		(Slope) شیب زمین	(0 to 20 percent) تا ۲۰ درصد ۰	بالا(High)
			(20 to 45 percent) تا ۴۵ درصد ۲۰	متوسط(Medium)
			(More than 45 percent) بیشتر از ۴۵ درصد	کم(Low)
3		(Village Elevation) ارتفاع روستا	(Plain) جلگه‌ای	بالا(High)
			(Foothill) کوهپایه‌ای	متوسط(Medium)
			(Mountainous) کوهستانی	کم(Low)
4		(Slope Direction) جهت شیب	جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، هموار (Southeast, South, Southwest, Flat)	بالا(High)
			(East and West) شرق و غرب	متوسط(Medium)
			(Northeast, North, Northwest) شمال شرق، شمال، شمال غرب	کم(Low)
5		(Type of Formation) نوع سازند	(Resistant Formation) سازند مقاوم	بالا(High)
			(Semi-resistant Formation) سازند نیمه مقاوم	متوسط(Medium)
			(Non-resistant Formation) سازند نامقاوم	کم(Low)
6		(Distance from Fault) فاصله از گسل	(More than 2000 meters) بیشتر از ۲۰۰۰ متر	بالا(High)
			(1000 to 2000 meters) تا ۲۰۰۰ متر ۱۰۰۰	متوسط(Medium)
			(Less than or equal to 1000 meters) کمتر یا مساوی ۱۰۰۰ متر	کم(Low)
7	ساختمان (Building)	(Type of Materials) نوع مصالح	(Durable) با دوام	بالا(High)
			(Semi-durable) نیمه بادوام	متوسط(Medium)
			(Non-durable) کم دوام	کم(Low)
8		(Age of Structure) قدمت بنا	(0 to 10 years) تا ۱۰ سال ۰	بالا(High)
			(10 to 30 years) تا ۳۰ سال ۱۰	متوسط(Medium)
			(More than 30 years) بیشتر از ۳۰ سال	کم(Low)
9		(Quality of Buildings) کیفیت ابنیه	(Under Construction) در حال ساخت و ساز	بالا(High)
			(Habitable and Repairable) قابل سکونت و مرمتی	متوسط(Medium)
			(Demolished) تخریبی	کم(Low)
10	زیرساختی (Infrastructure)	(Road Width) عرض معابر	(More than 12 meters) بیشتر از ۱۲ متر	بالا(High)
			(8 to 12 meters) تا ۱۲ متر ۸	متوسط(Medium)
			(Equal to or less than 8 meters) مساوی یا کمتر از ۸ متر	کم(Low)
11	خدماتی (Services)	سرعت دسترسی به (Access Speed to Hospital) بیمارستان	(Less than 15 minutes) کمتر از ۱۵ دقیقه	بالا(High)
			(15 to 30 minutes) تا ۳۰ دقیقه 15	متوسط(Medium)
			(More than or equal to 30 minutes) بیشتر یا مساوی ۳۰ دقیقه	کم(Low)
12		دسترسی به آتش‌نشانی (Access to Fire Department)	(Less than 15 minutes) کمتر از ۱۵ دقیقه	بالا(High)
			(15 to 30 minutes) تا ۳۰ دقیقه 15	متوسط(Medium)
			(More than or equal to 30 minutes) بیشتر یا مساوی ۳۰ دقیقه	کم(Low)

تحلیل سلسله مراتبی

براساس معیارهای موجود در سلسله مراتب اولیه به عنوان استاندارد ارزیابی معیار در یک سلسله مراتب، مقایسهٔ زوجی بین معیارها برای تعیین اهمیت نسبی بین دو معیار انجام می‌شود. بدین ترتیب نسبت اهمیت معیارها با مقادیر $\frac{1}{9}$ ، $\frac{1}{8}$ تا $\frac{1}{2}$ برای ۱، ۲ تا ۹ تعیین می‌گردد. نتیجهٔ مقایسه زوجی در مثلث بالایی ماتریس زوجی قرار می‌گیرد. قطر اصلی مقایسهٔ معیارها برابر با ۱ است. مثلث پایینی مقابل مثلث بالایی است و ماتریس مقایسه زوجی (A) بصورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & . & . & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & . & . & a_{2n} \\ . & . & 1 & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & . & . & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & . & . & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & . & . & W_2/W_n \\ . & . & 1 & . & . \\ . & . & . & . & . \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & . & . & W_n/W_n \end{bmatrix} \quad (۱)$$

در اینجا a_{ij} مخفف مقایسه متقابل عوامل تصمیم i و j به عنوان اهمیت عوامل تصمیم i و j برای تصمیم‌گیرندگان است. وزن معیارها در سلسله مراتب‌های مختلف پس از به دست آوردن ماتریس مقایسهٔ زوجی محاسبه می‌شود. مقدار ویژه در تحلیل عددی برای تعیین بردار ویژه یا بردار غالب و حداکثر مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی به کار می‌رود. در این مطالعه، بردار ویژه مستقیماً با AHP محاسبه می‌گردد. محاسبهٔ حداکثر مقدار ویژه و بردار ویژه با استفاده از رابطه (۲) قابل انجام است.

$$W_i = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \quad (۲)$$

ماتریس مقایسهٔ زوجی A ابتدا در بردار ویژه محاسبه شده W_i ضرب می‌شود تا یک بردار جدید W_i' به دست آورد و میانگین حاصل ضرب این دو نیز مقدار ویژه حداکثر λ_{max} است که به صورت رابطه (۳) نشان داده می‌شود.

$$W_i' = A \times W_i = \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & . & . & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & . & . & W_2/W_n \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & . & . & W_n/W_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ . \\ . \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1' \\ W_2' \\ . \\ . \\ W_n' \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$\lambda_{max} = \left(\frac{1}{n}\right)\left(\frac{W_1'}{W_i} + \frac{W_2'}{W_2} + \cdots + \frac{W_n'}{W_n}\right) \quad (۴)$$

در تحلیل سلسله مراتبی، از شاخص سازگاری (C.I) و نرخ ناسازگاری (I.R) برای اندازه‌گیری سازگاری ماتریس مقایسه زوجی استفاده می‌شود. از این رو، ارزش ماتریس مقایسه زوجی تحت آزمون سازگاری قرار می‌گیرد تا سازگاری ماتریس مقایسه زوجی ساخته شده را آزمایش کند. شاخص سازگاری براساس رابطه (۵) برای ماتریس‌های n بُعدی به دست می‌آید.

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (۵)$$

که در آن λ_{max} حداکثر مقدار ویژه و n تعداد معیارهای ارزیابی است. نرخ ناسازگاری با تقسیم شاخص سازگاری بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی $I.I.R_{n\times n}$ محاسبه می‌شود.

$$I.R = \frac{C.I}{I.I.R_{n\times n}} \quad (۶)$$

$I.I.R_{n\times n}$ مقدار شاخص ناسازگاری است که برای ماتریس‌های n بُعدی با اعداد کاملاً تصادفی محاسبه و در جدول ۲ نمایش داده شده است. چنانچه این عدد کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد بیانگر سازگاری در مقایسات است و اعتبار نظرات کارشناسی تأیید می‌گردد، در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر کرد (Liang & Peng, 2017).

جدول ۲- مقدار شاخص ناسازگاری

Table 2- Inconsistency index value

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$I.I.R_{n\times n}$	0.0	0.58	0.9	1.12	1.1	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

آماره I موران محلی

برای شناسایی الگوی حاکم بر میزان تاب‌آوری روستاهای محدودهٔ مورد مطالعه نیز از شاخص I موران محلی و تحلیل نقاط داغ (گتیس اورد) استفاده شد. آماره I موران محلی براساس رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_i^2} \sum_{j=1, j\neq 1}^{n} w_{ij}\ w_{ij}(x_i - \bar{x}) \qquad (۷)$$

در این رابطه، x_i ویژگی عارضه i و $\bar{x}$ میانگین ویژگی مربوطه و w_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد. مقدار S_i^2 از رابطه (۸) بدست می‌آید.

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j\neq 1}^{n} w_{ij}}{n-1} - \bar{x}^2 \qquad (۸)$$

در این رابطه n برابر با تعداد کل عوارض است. در این آماره نمره استاندارد Z محاسبه و در یک سطح اطمینان مورد آزمون قرار می‌گیرد. نمره استاندارد ZI_i به صورت رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$ZI_i = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \qquad (۹)$$

در این رابطه امید ریاضی $E[I_i]$ برابر با

$$E[I_i] = -\frac{\sum_{j=1, j\neq 1}^{n} w_{ij}}{n-1} \qquad (۱۰)$$

و واریانس $V[I_i]$ برابر با

$$V[I_i] = E[I^2] - E[I_i]^2 \qquad (۱۱)$$

در این تحلیل اگر مقدار I_i مثبت و معنی‌دار باشد بیانگر این است که مناطق موجود توسط مناطق مشابه خود محاصره شده‌اند. مقادیر مثبت I_i نشان‌دهنده این است که منطقه مورد نظر با مقادیر مشخص توسط مناطقی با مقادیر مشابه احاطه شده است (بالا-بالا یا پایین-پایین)، و به اینگونه مناطق خوشه گفته می‌شود. از طرف دیگر مقادیر منفی و معنی‌دار I_i بیانگر آن است که مناطق مورد نظر توسط مناطقی که از لحاظ ارزشی اصلاً شباهتی با یکدیگر ندارند احاطه شده است (بالا-پایین یا پایین-بالا)، که به اینگونه مناطق، ناخوشه گفته می‌شود و وجود چنین مناطقی حاکی از همبستگی فضایی منفی است (Alijani, 2019).

تحلیل نقاط داغ

از تحلیل نقاط داغ (آماره گتیس-اورد) برای نشان دادن عوارض دارای مقادیر بالا یا پایین که به صورت خوشه در فضا مشخص می‌شوند استفاده می‌شود. چگونگی محاسبه آماره محلی گتیس-اورد[1] در رابطه (۱۲) آورده شده است.

1-Getis-Ord

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_{ij}x_j - \bar{X}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}}{s\sqrt{\frac{\left[n\sum_{j=1}^{n} w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^{n} w_{ij}\right)^2\right]}{n-1}}} \quad (۱۲)$$

که در آن x_j مقدار ویژگی برای عارضه j است، w_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j است، n برابر با تعداد کل عوارض است. میانگین ($\bar{X}$) و انحراف معیار (S) این آماره بصورت رابطه‌های (۱۳) و (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_j}{n} \quad (۱۳)$$

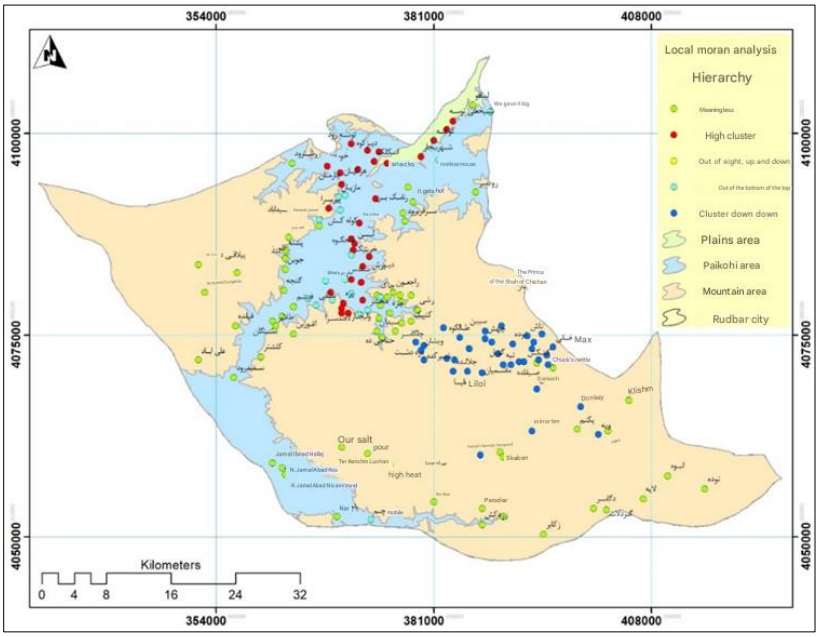
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (۱۴)$$

آمار G_i^* نوعی نمره Z محسوب می‌شود به طوری که نمرات Z مثبت، معنی‌داری آماری مقادیر بالا (نقاط داغ) و نمرات Z منفی، معنی‌داری آماری مقادیر پایین (نقاط سرد) را تأیید و نشان‌دهندهٔ خوشه‌بندی فضایی نقاط با مقادیر بالا و پایین هستند (Roshani, Rezaie & Ganji Goufali, 2021).

نتایج و بحث

در شکل ۳ خوشه‌ها و ناخوشه‌های فضایی دو شاخص تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و جمع وزنی (WS) به روش I موران محلی نشان داده شده است. نتایج شاخص I موران محلی مقادیر AHP بیانگر آن است که خوشهٔ بالا - بالا (HH) در شمال شرقی محدودهٔ مورد مطالعه قرار دارد. به عبارت دیگر روستاهای با تاب‌آوری بالا در ناحیه جلگه‌ای و پایکوهی شمال شهرستان رودبار در امتداد دره سفیدرود تا رستم‌آباد قابل مشاهده بوده و دارای الگوی خوشه‌ای بالا - بالا (HH) هستند. در این راستا اکثر سکونتگاه‌های روستایی بخش خورگام شهرستان رودبار نیز دارای الگوی خوشه‌ای پایین - پایین (LL) بوده و در مقابل زلزله از تاب‌آوری کمتری برخوردارند. همچنین اکثر روستاهای واقع در ناحیه پایکوهی این شهرستان دارای تاب‌آوری متوسط در برابر زلزله بوده و دارای رفتار تصادفی هستند. تعدادی روستاها از الگوی خاصی پیروی نکرده و جزء روستاهای برون‌هشته بالا و پایین محسوب می‌شوند. روستاهای برون‌هشته پایین - بالا (LH) در بخش شمالی شهرستان رودبار در مجاورت با خوشه HH قرار گرفته و در امتداد دره سفیدرود تا شهر رستم‌آباد استقرار دارند.

در جدول ۳ بخشی از خروجی آماره I موران محلی میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی آورده شده است. در این جدول مقدار شاخص I موران محلی، نمره Z، مقدار P value، نوع الگو و تعداد روستاهای همسایه با شرایط مشابه هر الگو قابل مشاهده است. همانگونه که از جدول پیداست مقدار I موران محلی برای ۱۵۱ روستای دارای سکنه محاسبه شده است. معنی‌داری یا عدم معنی‌داری یک الگو نیز از طریق مقایسه مقدار P value با مقدار $\alpha = 0.05$ تعیین می‌شود. اگر مقدار P value کمتر از ۰/۰۵ باشد در این حالت الگوی مورد نظر برای میزان تاب‌آوری مشخص می‌شود. به عنوان مثال الگوی بالا - بالا (HH) به معنی آن است که روستاهای با تاب‌آوری بالا توسط روستاهای با تاب‌آوری بالا احاطه شده‌اند یا الگوی پایین - پایین (LL) به معنی آن است که روستاهای با تاب‌آوری پایین توسط روستاهای با تاب‌آوری پایین احاطه شده‌اند. در جدول ۴ تعداد روستاها و نوع الگوی شناسایی شده برای هر کدام از آنها در شهرستان رودبار نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود از ۱۵۱ روستای واقع در این شهرستان، ۶۹ روستا دارای رفتار تصادفی (۴۵/۷ درصد)، ۲۹ روستا دارای الگوی بالا - بالا (۱۹٪/۲)، صفر روستا دارای الگوی بالا - پایین (۰٪)، ۱۸ روستا دارای الگوی پایین - بالا (۱۱/۹٪) و ۳۵ روستا دارای الگوی پایین - پایین (۲۳٪/۲) هستند. همانگونه که قبلاً گفته شد الگوی بالا - بالا و پایین - پایین نیز به صورت خوشه در پهنه شهرستان رودبار ظاهر شده‌اند، که خوشهٔ بالا - بالا در ناحیهٔ جلگه‌ای و پایکوهی و خوشهٔ پایین - پایین در ناحیهٔ کوهستانی مشاهده می‌شود.



شکل ۳- شاخص I موران محلی میزان تاب‌آوری روستاهای شهرستان رودبار در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

Fig. 3. Local Moran's I Index of Earthquake Resilience for Rural Settlements in Rudbar County Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) Method

جدول ۳- بخشی از جدول خروجی آماره موران محلی مقادیر تاب‌آوری روستاهای شهرستان رودبار به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

Table 3- Excerpt of Local Moran's I Statistics Output for the Earthquake Resilience Values of Rural Settlements in Rudbar County Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) Method

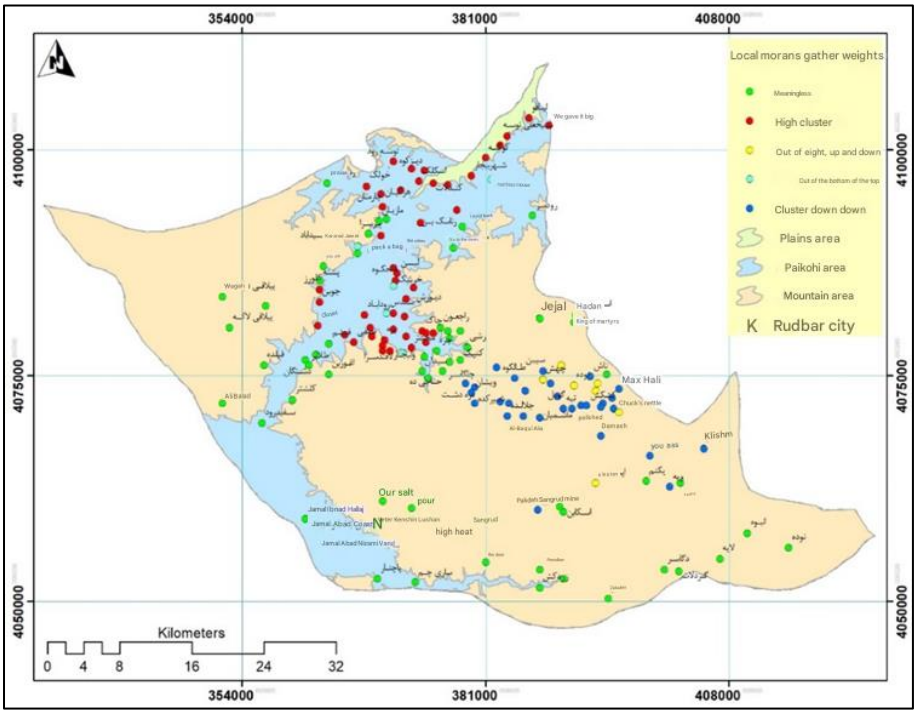
AHP value	Local Moran I Index	Z-score I index	PV value	Pattern type	Number of neighbors
6	0.0009	1.403	0.082	-	3
5	-0/0002	-2.310	0.002	LH	3
6	0.0028	2.211	0.014	HH	6
6	0.0031	2.147	0.014	HH	6
6	0.0020	1.892	0.034	HH	5
6	0.0042	3.665	0.002	HH	8
6	0.0061	3.846	0.002	HH	10
6	0.0061	3.664	0.002	HH	11
6	0.0023	1.994	0.014	HH	10
5	-0.0003	-2.539	0.006	LH	7
6	0.0068	3.816	0.002	HH	13
6	0.0004	1.447	0.238	-	1
6	0.0047	2.832	0.002	HH	11
5	-0.0006	-3.233	0.002	LH	12

در شکل ۴ الگوی فضایی میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار به روش جمع وزن‌ها (WS) با آماره I موران محلی نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود الگوی بالا - بالا (HH) روستاهای بخش جلگه‌ای و کوهپایه‌ای و الگوی پایین ـ پایین (LL) روستاهای ناحیه کوهستانی را شامل می‌شود. به طوری‌که الگوی HH روستاهای واقع در بخش شمالی شهرستان رودبار که در راستای دره سفیدرود تا ابتدای رودبار امتداد دارد در برمی‌گیرد. همچنین اکثر روستاهای واقع در ناحیه کوهستانی بخش خورگام شهرستان رودبار نیز دارای الگوی LL بوده و میزان تاب‌آوری آنها در برابر زلزله پایین است.

جدول ۴- تعداد، درصد فراوانی و فراوانی تجمعی روستاهای واقع در حالت‌های مختلف شاخص I موران محلی به روش AHP

Table 4- Number, Percentage, and Cumulative Frequency of Rural Settlements Across Different Local Moran's I Index Categories Using the AHP Method

Type	Number of villages	Percentage of abundance	Cumulative abundance
بی‌معنی (No significant)	69	45.7	45.7
خوشه بالا - بالا (High-High Cluster: HH)	29	19.2	64.9
برون‌هشته بالا - پایین (High-Low Outlier: HL)	0	0	64.9
برون‌هشته پایین - بالا (Low-High Outlier: LH)	18	11.9	76.8
خوشه پایین - پایین (Low-Low Cluster: LL)	35	23.2	100
Total Sum	151	100	



شکل ۴- شاخص I موران محلی میزان تاب‌آوری روستاهای شهرستان رودبار در برابر زلزله با استفاده از روش جمع وزن‌ها (WS)

Fig. 4. Local Moran's I Index of Earthquake Resilience of Rural Settlements in Rudbar County Using the Weighted Sum (WS) Method

در جدول ۵ بخشی از محاسبات شاخص I موران محلی آورده شده است. همچنین در جدول ۶ تعداد، درصد فراوانی و درصد فراوانی تجمعی روستاهای شهرستان رودبار در حالت‌های مختلف آماره I موران محلی آورده شده است. همانگونه که از جدول پیداست از ۱۵۱ روستای این شهرستان، ۶۳ روستا از الگوی خاصی پیروی نمی‌کنند (۴۱٪/۷)، یا دارای رفتار تصادفی و بی‌معنی هستند. در این راستا، ۴۶ روستا از الگوی بالا - بالا (۳۰٪/۵) و ۳۰ روستا از الگوی پایین - پایین (۱۹٪/۹) پیروی می‌کنند. برون هشته‌های بالا - پایین و پایین - بالا به ترتیب ۷ و ۵ روستا را شامل شده و در حدود ۴/۶٪ و ۳/۳٪ از ۱۰۰٪ روستای این شهرستان را در بر می‌گیرند.

جدول ۵- بخشی از جدول خروجی آماره I موران محلی مقادیر تاب‌آوری روستاهای شهرستان رودبار به روش جمع وزن‌ها (WS)

Table 5- Excerpt of Local Moran's I Statistic Output for Earthquake Resilience Values of Rural Settlements in Rudbar County Using the Weighted Sum (WS) Method

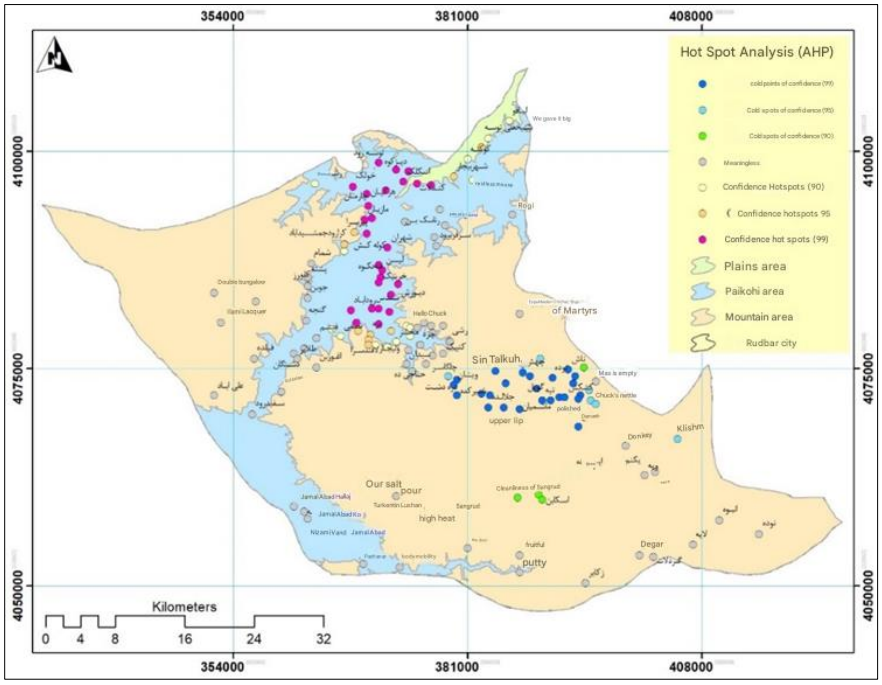
Value WS	Index I Local Moran	Z-score I-index Local Moran	PV value of the I index Local Moran	Pattern type	Number of neighbors
5.88	0.0013	2.0381	0.012	HH	3
5.22	0.0002	2.5885	0.002	HH	3
6.28	0.0042	2.4003	0.006	HH	6
6.24	0.0043	2.3871	0.01	HH	6
5.7	0.0015	2.2391	0.01	HH	5
5.56	0.002	3.5807	0.002	HH	8
6.06	0.0061	3.5308	0.002	HH	10
6.16	0.0072	3.2321	0.002	HH	11
5.8	0.0021	2.2963	0.008	HH	10
4.78	-0.0012	-2.4638	0.006	LH	7
5.76	0.0051	3.4666	0.002	HH	13
5.56	0.0002	1.0557	0.168	-	1
6.16	0.0061	2.9669	0.002	HH	11
5.28	0.0008	3.3954	0.002	HH	12
5.76	0.002	2.1059	0.014	HH	11

جدول ۶- تعداد، درصد فراوانی و فراوانی تجمعی روستاهای واقع در حالت‌های مختلف شاخص I موران محلی به روش WS

Table 6- Number, Percentage Frequency, and Cumulative Frequency of Rural Settlements in Different Local Moran's I Index Categories Using the Weighted Sum (WS) Method

Type	Number of villages	Percentage of abundance	Cumulative abundance
بی‌معنی (No significant)	63	41.7	41.7
خوشهٔ بالا - بالا (High-High Cluster: HH)	46	30.5	72.2
برون‌هشته بالا - پایین (High-Low Outlier: HL)	7	4.6	76.8
برون‌هشته پایین - بالا (Low-High Outlier: LH)	5	3.3	80.1
خوشهٔ پایین - پایین (Low-Low Cluster: LL)	30	19.9	100
Total Sum	151	100	

در شکل‌های ۵ و ۶ نتایج محاسبه تحلیل نقاط داغ (G* گتیس-اورد) میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار در برابر زلزله برای دو مدل AHP و WS نشان داده شده است. همانگونه که گفته شد اگر مقدار Z مثبت و از نظر آماری معنی‌دار باشد، نشان‌دهندهٔ این است که مقدار اطراف نقطه i بالاتر از مقدار متوسط است و به منطقه نقاط داغ با خوشه‌های با ارزش بالا تعلق دارد. در غیر این صورت، متعلق به منطقهٔ لکه سرد با خوشه‌های کم ارزش است. مقدار Z با سطح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ به ترتیب برابر با ۳±، ۲± و ۱± برای نقاط داغ و سرد بوده و برای نقاط داغ مثبت و نقاط سرد منفی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۵- تحلیل نقاط داغ (G^* گتیس-اورد) تاب‌آوری روستاهای شهرستان رودبار در برابر زلزله با استفاده از روش AHP

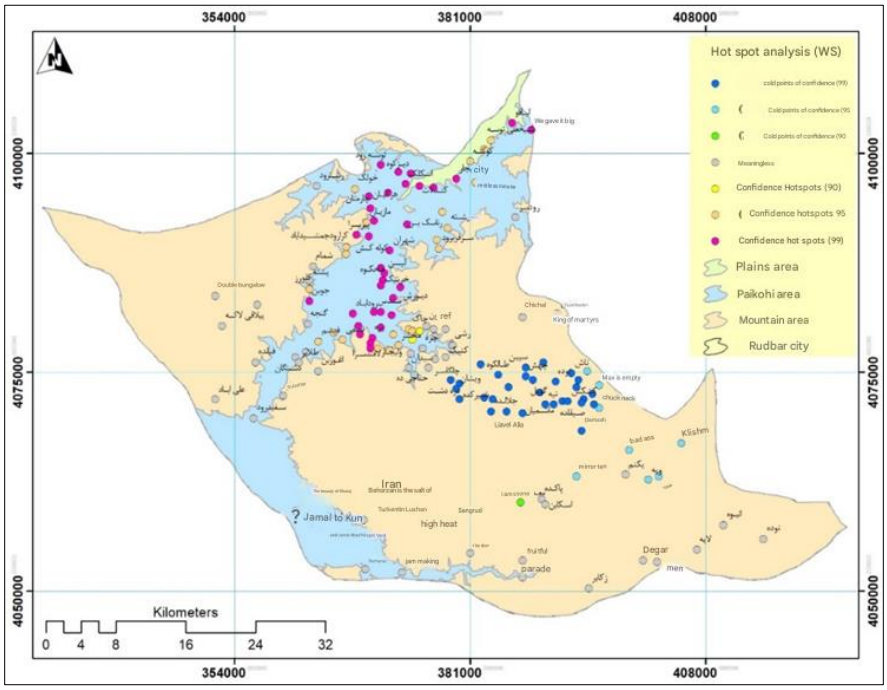
Fig. 5. Hot spot analysis (G^* Getis-Ord) of Earthquake Resilience of Rural Settlements in Rudbar County Using the AHP Method

تحلیل نقاط داغ بر روی میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار به روش تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد که کانون نقاط داغ میزان تاب‌آوری در ناحیه شمالی شهرستان در راستای دره سفید (شمالی-جنوبی) قرار دارد. همچنین کانون نقاط سرد میزان تاب‌آوری در برابر زلزله نیز اکثر روستاهای بخش خورگام این شهرستان را در بر می‌گیرد. این نقاط با Z برابر با ۳± مشخص شده و کانون داغ و سرد آنها با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. در بخشی از ناحیه کوهستانی این شهرستان بی‌معنی بودن تحلیل نقاط داغ کاملاً واضح بوده و نشان از تاب‌آوری متوسط نقاط روستایی این بخش دارد. تعداد کمی از روستاهای شهرستان در محدوده Z برابر با ۲+ یا ۲- قرار داشته و به طور کلی اکثر نقاط داغ و سرد شهرستان به صورت الگوی خوشه‌ای در ناحیه جلگه‌ای و کوهستانی شهرستان مشاهده می‌شوند (نقاط داغ و سرد در سطح اطمینان ۹۹ درصد به ترتیب به معنی تاب‌آوری بالا و پایین سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله است).

اجرای تحلیل نقاط داغ بر روی میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار به روش جمع وزنی نشان می‌دهد که نتایج این مدل با مدل تحلیل سلسله مراتبی تفاوت چندانی نداشته و قوائد حاکم بر تحلیل نقاط داغ در مدل AHP در مورد مدل WS صدق می‌کند. به عبارتی نقاط روستایی واقع در بخش شمالی شهرستان در امتداد دره سفیدرود (واقع در ناحیه پایکوهی) از تاب‌آوری بالا در برابر زلزله برخوردار بوده و در سطح اطمینان ۹۹ درصد نیز تاب‌آوری بالا معنی‌دار است. این موضوع در مورد روستاهای بخش خورگام شهرستان رودبار برعکس بوده و سکونتگاه‌های روستایی واقع در این بخش از شهرستان نیز با اطمینان ۹۹ درصد جزو کانون سرد محسوب می‌شوند و دارای تاب‌آوری پایین در برابر زلزله هستند (شکل ۶).

در جدول ۷ خلاصه نتایج تحلیل نقاط داغ میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار بر اساس مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و مدل جمع وزن‌ها (WS) درج شده است. همانگونه که از جدول پیداست از ۱۵۱ روستای این شهرستان، ۲۵ روستا جزو نقاط سرد در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ۲۶ روستا جزو نقاط داغ در سطح اطمینان ۹۹ درصد در مدل تحلیل سلسله مراتبی

هستند. این مهم برای مدل جمع وزن‌ها نیز به ترتیب برابر با ۳۰ و ۳۴ روستا برای نقاط سرد و داغ به دست آمد. تحلیل نقاط داغ نشان می‌دهد که به ترتیب ۶۵ و۵۴ روستا در روش تحلیل سلسله مراتبی و جمع وزن‌ها از لحاظ تاب‌آوری در برابر زلزله رفتار تصادفی داشته و میزان تاب‌آوری آنها در هر دو روش متوسط تعیین گردید. در مجموع روستاهای با تاب‌آوری کم در شهرستان رودبار به ویژه نواحی کوهستانی آن لزوم توجه به بهسازی و استحکام ساختمان‌ها در برابر زلزله را بیشتر کرده و این مسئله برای مسئولین کشور در مقیاس ملی باید جدی تلقی شده و به عنوان اولویت اول شهرستان مورد توجه قرار گیرد، زیرا امکان تکرار زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ نیز بعنوان یک فاجعه ملی نیز دور از انتظار نیست. بنابراین تنها راه جلوگیری از صدمات جانی و مالی ناشی از زلزله، توجه ویژه به بحث مقاوم‌سازی و بکارگیری روش‌های نوین ساخت‌وساز در مقابله با این پدیده شوم و نامبارک است.



شکل ۶- تحلیل نقاط داغ (G^* گتیس-اورد) تاب‌آوری روستاهای شهرستان رودبار در برابر زلزله با استفاده از روش WS

Fig. 6. Hot spot analysis (G^* Getis-Ord) of Earthquake Resilience of Rural Settlements in Rudbar County Using the Weighted Sum (WS) Method

جدول ۷- تعداد، درصد فراوانی و فراوانی تجمعی روستاهای واقع در حالت‌های مختلف نقاط داغ ($\mathbf{G^*}$ گتیس-اورد) به روش AHP و WS

Table 7- Number, Frequency Percentage and Cumulative Frequency of Rural Settlements in Different Hot Spot states (G^* Getis-Ord)Categories Using AHP and WS Methods

Type	Analytical Hierarchy Process (AHP)	Percentage of frequency	Cumulative frequency percentage	Weighted sum (WS)	Percentage of frequency	Cumulative frequency percentage
Cold Spots (99%)	25	16.6	16.6	30	19.9	19.9
Cold Spots (95%)	8	5.3	21.9	8	5.3	25.2
Cold Spots (90%)	4	2.6	24.5	1	0.7	25.8
Nonsense	65	43	67.5	54	25.8	61.6
Hot Spots (90%)	14	9.3	76.8	2	1.3	62.9
Hot Spots (95%)	9	6	82.8	22	14.6	77.5
Hot Spots (99%)	26	17.2	100	34	22.5	100
Total	151	100		151	100	

نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش نیز شناسایی الگوی فضایی حاکم بر میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار در برابر زلزله بوده است. در اینجا تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی از چهار رویکرد سازه‌ای، زیرساختی، توپوگرافیکی و زمین‌شناختی و خدماتی در هنگام وقوع زلزله و پس از آن مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور، از دو روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و جمع وزنی (WS) اقدام به تعیین میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی گردید. سپس با استفاده از دو روش I موران محلی و تحلیل نقاط داغ (گتیس - اورد) نوع الگوی ایجاد شده و معنی‌داری آن مشخص شد. نتایج به دست آمده از دو روش I موران محلی و تحلیل نقاط داغ (G^* گتیس - اورد) نشان داد که الگوی خوشه‌ای بالا - بالا (HH) و پایین - پایین (LL) به ترتیب در بخش جلگه‌ای و پایکوهی و بخش کوهستانی شهرستان رودبار مشاهده می‌شود و الگوی خوشه‌ای بالا - بالا منطبق بر روستاهای دارای سکونتگاه‌های با تاب‌آوری بالا و الگوی خوشه‌ای پایین-پایین منطبق بر روستاهای دارای سکونتگاه‌های با تاب‌آوری پایین است (در I موران محلی). همچنین با سطح اطمینان ۹۹ درصد نقاط داغ میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان رودبار در ناحیه پایکوهی شمال شهرستان قرار داشته و با سطح اطمینان ۹۹ درصد نقاط سرد میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی این شهرستان در بخش کوهستانی آن یعنی بخش خورگام قرار گرفته است. در مجموع نتایج به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی و جمع وزن‌ها با روش‌های آمار مکانی از قبیل شاخص I موران محلی و تحلیل نقاط داغ (G^* گتیس-اورد) همخوانی داشته و عدم همگنی میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله کاملاً محرز است. الگوی فضایی شناسایی شده به همراه توزیع فضایی میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌ها نشان می‌دهد که مناطق کوهستانی (به ویژه خورگام با تراکم روستایی بالا) توسعه نسبتاً پایینی در حوزهٔ تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله دارند. نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج پژوهش‌های فرجی سبک‌بار و همکاران (Faraji Sabokbar et al., 2021) و بدری و همکاران (Badri et al., 2019) همسو است زیرا هر دو پژوهش بر تاب‌آوری کم روستاها تأکید داشته و معتقدند که کیفیت پایین ساخت‌وساز و اسکلت نامناسب بناها باعث کاهش تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شده است. با توجه به مطالب گفته شده و همچنین تجربهٔ بسیار سنگین زلزله ۲۹ خرداد ۱۳۶۹ باید گفت این مخاطره با توجه به تاب‌آوری متوسط به پایین سکونتگاه‌های روستایی، هنوز خطری جدی برای این شهرستان محسوب می‌شود. در نهایت باید گفت که توپوگرافی یکی از عوامل مؤثر در توزیع مکانی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله در شهرستان رودبار است. به عبارت دیگر نواحی کوهستانی این ناحیه از آسیب‌پذیری بالا و تاب‌آوری کم در برابر زلزله برخوردار بوده و این مهم به سمت نواحی پایکوهی و جلگه‌ای افزایش می‌یابد. در نتیجه سطح توسعه‌یافتگی نواحی از ابعاد مختلف (کالبدی، اقتصادی، اجتماعی و ...) تأثیر مستقیم بر میزان تاب‌آوری دارد، و این مسئله در ناحیهٔ مورد بررسی با ارتفاع کاملاً برعکس عمل می‌کند. از این رو لزوم توجه ویژه سازمان‌های متولی به موضوع زلزله و مستحکم‌سازی ساختمان‌های مسکونی در برابر زلزله را در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای شهرستان دوچندان می‌کند. علاوه بر این، احداث سکونتگاه‌های روستایی متناسب با شرایط بومی و مکان‌گزینی صحیح قرارگیری آنها با توجه به معیارهای مختلف محیطی (از جمله شیب، جهت شیب، نوع خاک، سازند زمین‌شناسی، فاصله از گسل و ...) از جمله مواردی است که باید لحاظ گردد. مسئلهٔ دیگر در ارتباط با سکونتگاه‌های روستایی نیز به کارگیری معماری بومی با تکنولوژی جدید و همچنین مصالح بومی و سنتی بصورت توامان در راستای حفظ میراث سکونتگاه‌های روستایی گذشته در این ناحیه با رعایت اصول مهندسی و معماری است که باید مورد توجه قرار بگیرد.

References

Ainuddin, S., & Routray, J. K. (2012). Community resilience framework for an earthquake prone area in Baluchistan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *2*, 25-36. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2012.07.003

Akbarian Ronizi, S. R., Negahban, S., & Zare, N. (2024). The Analysis of Resilience of Rural Settlements against Earthquakes Case: Shiraz County. *Regional Planning*, *14*(53), 95-108. [In Persian] https://doi.org/10.30495/jzpm.2022.30996.4152

Alavi, A., Ramezannejad, Y., Fatahi, A., & Khalifeh, E. (2016). Spatial zone of Rural Settlements Expose to Environmental Disasters by Using Multi- criteria Decision-Making Techniques VIKOR (Case Study: Talesh County). *Regional Planning*, *5*(20), 125-136. [In Persian]

Aldrich, D. P. (2011). The power of people: Social capital's role in recovery from the 1995 Kobe earthquake. *Natural Hazards*, *56*(3), 595–611. https://doi.org/10.1007/s11069-010-9577-7

Alijani, B. (2019). *Quantitative Methodology in Geography*. Tehran: SAMT Press. [In Persian]

Badri, S. A., Karimzadeh, H., Saadi, S., & Kazemi, N. (2019). Analysis of Rural Settlements Resilience against Earthquake (Case Study: Marivan County). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, *6*(1),1-16. [In Persian] http://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.6.1.1

Berry, R., Vigani, M., & Urquhart, J. (2022). Economic resilience of agriculture in England and Wales: a spatial analysis. *Journal of Maps*, *18*(1), 70-78. https://doi.org/10.1080/17445647.2022.2072242

Chang, S. E., McDaniels, T., Fox, J., Dhariwal, R., & Longstaff, H. (2014). Toward disaster-resilient cities: Characterizing resilience of infrastructure systems with expert judgments. *Risk Anal*, *34*(3), 416–434. https://doi.org/10.1111/risa.12133

Cutter, S. L. (2016). The landscape of disaster resilience indicators in the USA. *Natural hazards*, *80*(2), 741-758. https://doi.org/10.1007/s11069-015-1993-2

Fakhrghazi, M., Pourramzan, E., & Molaei Hashtjin, N. (2021a). Explaining the economic resilience of rural settlements in Avaj city against environmental hazards emphasizing earthquakes. *Space Economy & Rural Development*, *11*(41), 57-76. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222131.1401.11.41.4.1

Fakhrghazi, M., Pourramzan, E., & Molaei Hashtjin, N. (2021b). Spatial Analysis of Social Resilience of Rural Settlements against Earthquake Risk (Case study: villages of Avaj city). *Geographical Engineering of Territory*, *6*(2), 309-325. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25381490.1401.6.11.1.8

Faraji Sabokbar, H., Badri, S. A., & Tahmasi, B. (2021). Spatial Assessment of Vulnerability to Earthquake in Rural Settlements Using a Fuzzy Inference System (Case Study: Rural Settlements in the Tehran Metropolitan Area). *Journal of Sustainable Rural Development*, *5*(2), 175-188. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.25383876.2021.5.2.1.7

Feder, A., Ahmad, S., Lee, E. J., Morgan, J. E., Singh, R., Smith, B. W., ... & Charney, D. S. (2013). Coping and PTSD symptoms in Pakistani earthquake survivors: Purpose in life, religious coping and social support. *Journal of Affective Disorders*, *147*(1-3), 156-163. https://doi.org/10.1016/j.jad.2012.10.027

Frazier, T. G., Thompson, C. M., Dezzani, R. J., & Butsick, D. (2013). Spatial and temporal quantification of resilience at the community scale. *Applied Geography*, *42*, 95-107. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.05.004

Frigerio, I., Ventura, S., Strigaro, D., Mattavelli, M., De Amicis, M., Mugnano, S., & Boffi, M. (2016). A GIS-based approach to identify the spatial variability of social vulnerability to seismic hazard in Italy. *Applied Geography*, *74*, 12-22. https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2016.06.014

Ge, D., Zheng, Y., Zhang, Sh., Fu, J., & Su, F. (2022). Spatio-Temporal Pattern and Influence Mechanism of Rural Human Settlements System Resilience: Case from China. *Sustainability*, *14*, 1-24. https://doi.org/10.3390/su142114533

Heydari Sarban, V., Majnoony Toutakhane, A., & Neghabi, M. (2016). Study and Evaluation of the Impact of Resettlement Patterns on Social Capital Changes in Earthquake-Stricken Villages Case study: Varzaqan County Earthquake-Stricken Villages. *Geography and Development*, *14*(43), 51-70. [In Persian] https://doi.org/10.22111/gdij.2016.2478

Kwazu, G. C., & Chang-Richards, A. (2022). A tool to assess livelihood preparedness for disasters: a study of Kaikoura earthquake in New Zealand. *Natural Hazards*, *113*, 745–766. https://doi.org/10.1007/s11069-022-05322-x

Liang, T. C., & Peng, S. H. (2017). Using Analytic Hierarchy Process to Examine the Success Factors of Autonomous Landscape Development in Rural Communities. *Sustainability*, *9*(5), 729. https://doi.org/10.3390/su9050729

Liu, Z., Zhang, J., Li, X., & Chen, X. (2021). Long-Term Resilience Curve Analysis of Wenchuan Earthquake-Affected Counties Using DMSP-OLS Nighttime Light Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *14*, 10854-10874. http://dx.doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3121789

Management and Planning Organization of Guilan Province. (2025). Deputy Director of Statistics and Information. [In Persian] https://sdimpogl.ir/

Miles, S. B., & Chang, S. E. (2006). Modeling community recovery from earthquakes. *Earthquake Spectra*, *22*(2), 439-458. https://doi.org/10.1193/1.2192847

Mohammadloo, M., Rahmani Fazli, A. R., Sajadi, J., & Charaghi, M. (2025). Factors affecting the resilience of rural settlements in Mahneshan township against drought. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, *12*(1), 103-116. [In Persian] https://doi.org/10.22034/grd.2024.21879.1623

Noy, I., & DuPont IV, W. (2018). The long-term consequences of disasters: What do we know, and what we still don't. *International Review of Environmental and Resource Economics*, *12*(4), 325–354. https://www.nowpublishers.com/article/Details/IRERE-0104

Roshani, M., Rezaie, P., & Ganji Goufali, S. (2021). *Statistical Analysis of Geographic Information with ArcView GIS and ArcGIS.* (W. S. Wang & J. Lee, Trans.). Jihad Daneshgahi Environmental Research Institute. [In Persian]

Rudiarto, I., Handayani, W., Wijaya, H. B., & Insani, T. D. (2019). Rural Livelihood Resilience: An Assessment of Social, Economic, Environment, and Physical Dimensions. *MATEC Web of Conferences 280*. https://doi.org/10.1051/matecconf /201928001002

Shahabi, H., Golizadeh, M. H., & Nayer, H. (2011). Zoning of Seismic Risk by Spatial Multi Criteria Analysis Method. *Geography and Development*, *9*(21), 65-80. [In Persian] https://gdij.usb.ac.ir/article_581.html

Sharifi, O., Hosseini, S. M., & Asadi, A. (2011). Analysis of Participatory Mechanisms for Rebuilding Damaged Housing Choices Villages in Earthquake-stricken City of Bam. *Journal of Rural Research*, *1*(1), 121-142. [In Persian] https://jrur.ut.ac.ir/article_21828_en.html?

Shu, B., Chen, Y., Amani-Beni, M., & Zhang, R. (2022). Spatial distribution and influencing factors of mountainous geological disasters in southwest China: A fine-scale multi-type assessment. *Frontiers in Environmental Science*, *10,*1049333. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1049333

Su, H., Liu, C., Dai, D., Chen, W., Zhang, Z., & Wang, Y. (2023). Distribution Characteristics and Influencing Factors of the National Comprehensive Disaster-Reduction Demonstration Community in China. *Land*, *12*, 1633. https://doi.org/10.3390/land12081633

Sung, C. H., & Liaw, S. C. (2021). Using Spatial Pattern Analysis to Explore the Relationship between Vulnerability and Resilience to Natural Hazards. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*, 5634. https://doi.org/10.3390/ijerph18115634

Winderl, T. (2014). Disaster resilience measurements: stocktaking of ongoing efforts in developing systems for measuring resilience. *United Nations Development Programme (UNDP)*, *12*(2), 355-367.

Yari Hesar, A., & Heidari Sareban, V. (2016). Evolution of Development Projects Role in Vulnerability Decrease of Villages after Earthquake (Case Study: Varzeghan County). *Geographic Space*, *16*(54), 324-305. [In Persian]

Zakeri-e-Miyab, K., & Aghayari-e-Hir, M. (2016). Spatial Pattern Analysis of Rural Settlements in Connection with the Earthquake Vulnerability (Case Study: Central District of Marand County). *Journal of Research and Rural Planning*, *5*(3), 61-74. [In Persian] https://doi.org/10.22067/jrrp.v5i3.46183

Zargar, A., Miri, S. H., & Aghaei, M. (1994). *Typology of rural housing in Gilan according to type of architecture and materials*. Islamic Revolution Housing Foundation, Center for Studies on Natural Disasters - Iran, Plan to Mobilize the Country's Technical Capacity in Rebuilding Earthquake-Stricken Areas. [In Persian]